齋藤和孝

馬鹿アンプの設計思想

馬鹿アンプは，電子工作入門者へのワークショップ（工作教室）のための製作キットとして開発を行いました．当初からスマホや携帯音楽プレーヤ（ヘッドホンステレオ）に接続して使用することを想定して設計しています．

通常ヘッドホンで音楽を聴くとき，プレーヤの出力はおおむね500mVp-p程度あります．プレーヤ自体はそれ以上の出力も出来るようになっていて，余裕のあるものになると1Vp-p程度まで出せるものもあります．

一方で，一般の家庭でスピーカを鳴らす場合，スピーカ入力はおおむね200～300mW程度あれば十分聞こえます．スピーカの特性インピーダンスが8Ωであるとすれば，このときの電圧振幅は2～2.5Vp-p程度となります．

このことから，馬鹿アンプの電圧増幅率はせいぜい4～5倍程度あればよいことが分かります．

馬鹿アンプの電圧増幅率AVは次式で示されます．

$$AV = \frac{R3 \times RL}{(R3 + RL) \times R4}$$

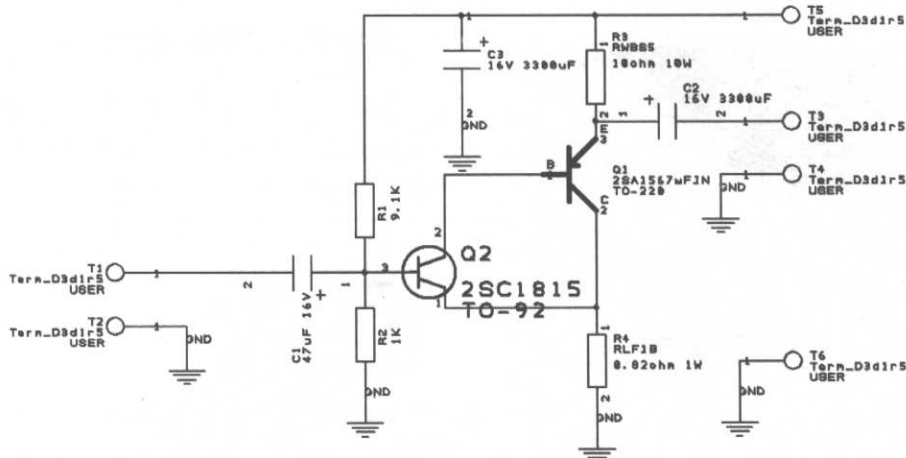
今回の場合，R3=10Ω，R4=0.82Ω，RL=6Ωで設計しているので，AVは4.57となります．もし，増幅率を上げたければR4を小さくすればOKです．但しその場合，R1，R2の値も変更してバイアス電流を最適化する必要があります．

馬鹿アンプには一般的なアンプには取り付けられている「ボリューム」がありません．これはプレーヤーのヘッドホン端子に接続することを想定しているからで，プレーヤー本体のボリュームで調整すればよいという考えに基づきます．どうしてもボリュームを付けたいのであれば，外付けでつければよいでしょう．

馬鹿アンプの動作

では馬鹿アンプの回路を公開します．まずは初期の馬鹿アンプの回路（第1図）を説明をします．便宜的にこれを「Ver.1」とします．小さいはずの2SC1815の存在感が半端ないのは気にしないでください(笑)

馬鹿アンプの回路では，擬似ダーリントン接続されたトランジスタとR4がエミッタフォロワを構成します．そのため，出力をR4から取れば出力インピーダンスがほぼ0の電圧駆動となります．しかし，出力をエミッタからではなくコレクタから取り出すと、エミッタフォロワは電流源として動作します．馬鹿アンプでは擬似ダーリントントランジスタのコレクタ相当端子から出力を取り出すので，ちょうどR3を定電流源で駆動するような形になります．そのため，出力インピーダンスはR3と同じになります．また，電力付加効率を最大にするために，R3の値は負荷インピーダンスRLに対して1.4～1.5倍に設定しています（理由は後述）から，馬鹿アンプの出力インピーダンスは負荷インピーダンスに対して高めということになります．すなわち，馬鹿アンプはおおむね電流駆動アンプであるといえます．

R1，R2，R4をこのように接続してバイアスをかける回路構成を「ベースブリーダー型」と呼ぶそうです．出力振幅は電源電圧から，R4にかかる直流バイアス電圧の2倍と，

〈第１図〉馬鹿アンプ Ver.1 の回路図

トランジスタのコレクターエミッタ間飽和電圧とを引いた値で決まります．R4の直流バイアス電圧はほぼR4の値に比例しますから，R4が大きい（すなわち直流バイアス電圧が高い）と出力振幅，ひいては最大電力付加効率に響くので，出来る限り小さくしたいところです．

しかし，この回路構成でもR4の直流バイアス電圧は0.5～0.6Vと極端に低い上，Q2のベース－エミッタ間飽和電圧が温度によって変動すると，その影響をもろに食らって動作点が大きく動いてしまいます．R4が小さくなれば小さくなるほど影響が大きくなります．よって，0.82Ω程度がほぼ下限ぎりぎりといったところでしょう．

R4を小さくできない理由はもうひとつあって，電流ゲインが高くなるので発振しやすくなるということです．それも音声周波数帯域を大きく越えた，数MHz～数100MHzという周波数で発振するのです．実際にR4を0.33Ωに変更してオシロスコープで測定してみたところ2MHzくらいの周波数で1Vp-pもの強さでノイズが乗っているのが観測されました．

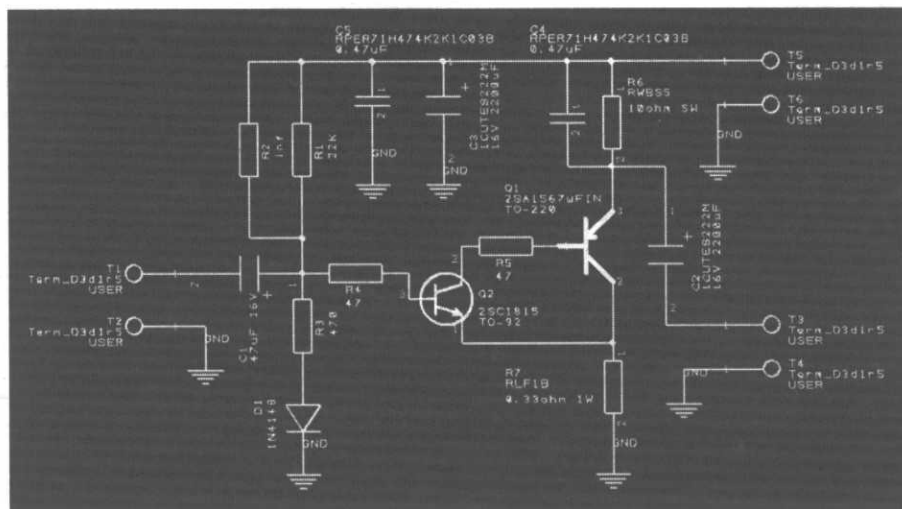
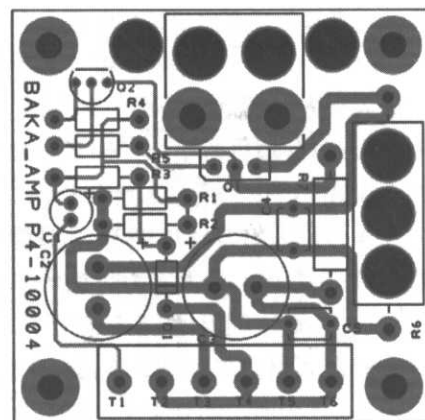
馬鹿アンプ Ver.1 の抱えている２つの問題

- バイアス電圧が変動しやすい
- 発振しやすい

という２点を解決した「馬鹿アンプVer.2」が，**第２図**です．どこが変わったかというと…だれですか？「色が変わった」って言ってるのは！（笑）

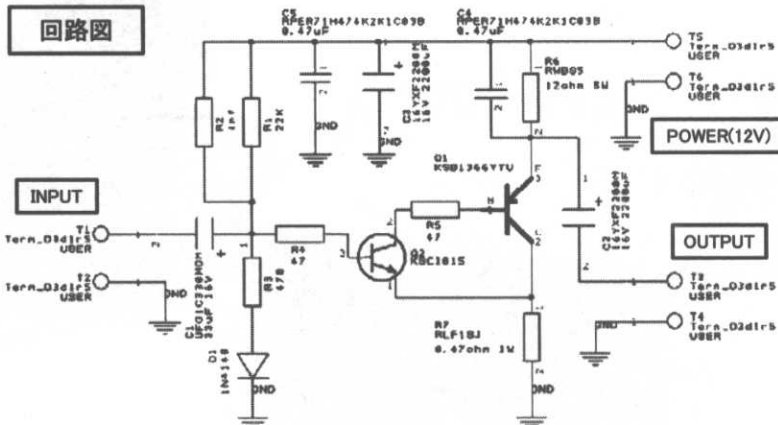
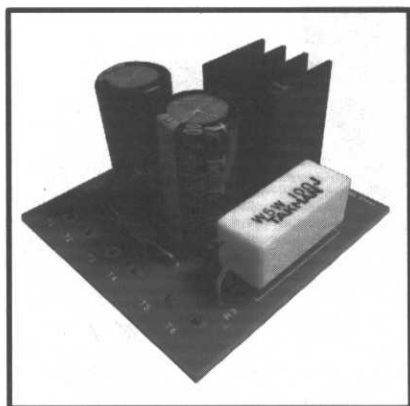
Q2のベース－エミッタ間飽和電圧の温度変化に対しては，シリコン製のダイオードD1の順方向電圧降下をバイアスに利用することにしました．本来ならD1とQ2を「熱結合」させておくべきなのでしょうが，Q2自体はあまり発熱しないでしょうし，ベースブリーダー型バイアス回路自体が温度変化に対しての安定度がよい回路ですから，**第３図**の基板上では離して配置してあります．

発振に対しては，いわゆるエミッタフォロワ回路の発振防止の手法を使いました．Q1，Q2のベースに小さめの抵抗を挿入し，電源とGNDの間にセラミックコンデンサを追加してデカップリングを強化しています．またR3にも並列にセラミックコンデンサを入れて，こちらはフィルタの役目を持たせています．

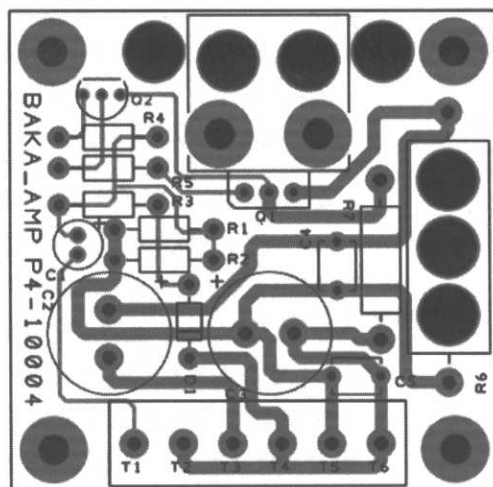
なお，ベースバイアス電圧の誤差もシビアになってくるので，ベースバイアス抵抗は並列にして誤差を追い込めるようにしました．E24系列を使えばコンマ数%のオーダーまで追い込めますが，E12系列でも最大誤差±1.5%程度に設定できます．

〈第２図〉馬鹿アンプ Ver.2 の回路図

〈第３図〉基板のパターン

シングルA級トランジスタオーディオアンプ「馬鹿アンプ」キット

このキットは、トランジスタで構成するオーディオ用アンプです。少ない部品で簡単に製作でき、スピーカーを鳴らすことが出来ます。

・難易度：★★（中級）　・実用度：★★★（実用向き）
・製作時間（目安）：約60分・対象年齢：中学生以上

部品表

No.	名称	型番	仕様	個数
Q1	パワートランジスタ	KSB1366YTU		1
Q2	小信号トランジスタ	KSC1815		1
D1	ジャンパ抵抗		JP	1
R1	金属皮膜抵抗	MF1/4CC1202F	12kΩ 1/4W 1%	1
R2	なし			0
R3	金属皮膜抵抗	MF1/4CC1001F	1kΩ 1/4W 1%	1
R4,R5	金属皮膜抵抗	MF1/4CC47R0F	47Ω 1/4W 1%	2
R6	セメント抵抗	RWBS5 12Ω	12Ω 5W 5%	1
R7	酸化金属皮膜抵抗	RLF1SJ 0.47Ω	0.47Ω 1W 5%	1
C1	電解コンデンサ	UFG1C330M	33uF 16V	1
C2,C3	電解コンデンサ	16YXF2200M12.5X25	2200uF 16V	2
C4,C5	積層セラミックコンデンサ	RPER71H474K2K1C03B	0.47uF 50V	2
	放熱器	16P16L25		1
	なべ小ねじ		M3×8mm	3
	平ワッシャー		M3用	3
	スプリングワッシャー		M3用	3
	プリント配線版	P4-10004		1

基板組立図

電解コンデンサ（C1～C3）の取り付け方

マークのある方がマイナス

長い方がプラス

プラスのマークにあわせて挿入。

※R2は取り付けません。
また、D1にはダイオードの代わりにジャンパ抵抗（0Ω）を取り付けます。

セメント抵抗・酸化金属皮膜抵抗（R6・R7））の取り付け方

基板から数mm浮かせて取り付ける。

パワートランジスタ(Q1)の取り付け方。

ねじで放熱器に取り付けてから、基板に挿入する。
放熱器は基板にもねじで固定する。

キット販売時の取扱説明書．組み立て時のポイントが分かりやすく説明されている．